

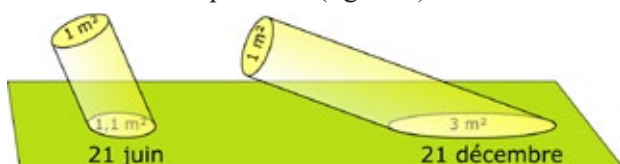
# AVEC NOS ÉLÈVES

## Un appareil pour comprendre les saisons

Pierre Causeret

*On l'a vu pour la première fois au CLEA en novembre 2001 lors de l'assemblée générale à Lyon, il est déjà apparu dans les Cahiers Clairaut, mais il n'y avait jamais eu d'article qui lui était consacré. Voici donc présenté un appareil pour expliquer les saisons, à utiliser de préférence avec du chocolat.*

Pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver ? On répond habituellement : parce que les journées sont plus longues mais aussi parce que le Soleil est plus haut dans le ciel (ces deux réponses provenant de l'inclinaison de l'axe de la Terre sur le plan de son orbite). Il est facile de comprendre le premier argument : lorsque les journées sont plus longues, le Soleil chauffe plus longtemps, il fait plus chaud. Par contre, comment expliquer le rôle de la hauteur du Soleil ? À midi, celui-ci culmine à  $66^\circ$  au-dessus de l'horizon au solstice d'été contre  $20^\circ$  seulement au solstice d'hiver, pour une latitude moyenne en France. Le dessin habituel montre qu'un même faisceau de lumière doit chauffer une plus grande surface en hiver qu'en été (figure 1).



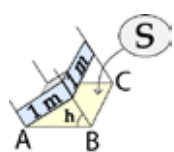
**Fig.1.** Un faisceau de lumière de  $1 \text{ m}^2$  de section doit chauffer une surface horizontale de  $1,1 \text{ m}^2$  le 21 juin à midi contre  $3 \text{ m}^2$  le 21 décembre.

On propose aussi souvent l'expérience avec une lampe dirigée vers une feuille de papier sous un angle plus ou moins incliné pour montrer les variations de la surface éclairée.

L'énergie reçue par unité de surface est donc moindre en hiver qu'en été. On peut calculer qu'elle est proportionnelle au sinus de la hauteur du Soleil (voir l'encadré ci-dessous ou le hors série n° 10 des Cahiers Clairaut, *Maths et Astronomie*, page 20).

### Petit calcul

Un faisceau de lumière à section carrée de  $1 \text{ m}$  par  $1 \text{ m}$  éclaire au sol le rectangle ABCD. L'angle que fait ce faisceau de lumière avec l'horizontale est noté  $h$ .



$\sin h = 1/AB$  donc  $AB = 1/\sin h$  et  
 $BC = 1$ . Donc  $S = AB \times BC = 1 \times 1/\sin h$   
Puissance reçue par unité de surface :  
 $P/S$  soit  $P \times \sin h$

### Le premier appareil

En juillet 2001, eut lieu à Dijon une université d'été de l'OCCE sur le thème de l'enseignement des sciences de l'école au collège. J'avais prévu, avec l'enseignant de physique de l'IUFM, d'y présenter des « manips » permettant de comprendre les saisons. L'expérience avec une lampe tenue à la main ne me satisfaisait guère puisque la distance lampe feuille peut varier, d'où l'idée de fixer la source lumineuse sur un bras articulé. Pour mesurer les variations de puissance reçue, il suffisait d'emprunter les cylindres métalliques percés d'un trou que l'on utilisait au CLEA pour la mesure de la constante solaire. Ainsi est né mon premier appareil de démonstration de la variation de la puissance reçue au sol par unité de surface en fonction de la hauteur du Soleil.



**Fig.2.** Le premier appareil présenté en 2001. La lampe au 1<sup>er</sup> plan est inclinée à  $66^\circ$  par rapport à l'horizontale et celle au 2<sup>e</sup> plan à  $20^\circ$ . Elles représentent le Soleil au solstice d'été puis d'hiver à midi. Elles chauffent un cylindre métallique dans lequel est inséré un thermomètre qui mesure l'élévation de température. La distance lampe cylindre est de  $30 \text{ cm}$ .

D'après la figure 1, la quantité de chaleur reçue par le cylindre métallique éclairé par la lampe du solstice d'été inclinée à  $66^\circ$  doit être presque 3 fois supérieure à celle reçue par l'autre cylindre. Ce que confirme le calcul :  $\sin 66^\circ / \sin 20^\circ \approx 2,7$ .

Quand on réalise l'expérience, il faut déjà laisser l'appareil reposer quelques heures à température

constante. On allume ensuite les deux lampes en même temps et on mesure à intervalles réguliers la température des cylindres (tableau 1).

t (min)	0	3	6	9	12	15	18	21
T1 (°C)	20	21,5	23,6	25,4	27,2	28,8	30,2	31,6
$\Delta T1$ (°C)		1,5	3,6	5,4	7,2	8,8	10,2	11,6
T2 (°C)	20,1	20,6	21,3	22	22,5	23,2	23,7	24,2
$\Delta T2$ (°C)		0,5	1,2	1,9	2,4	3,1	3,6	4,1
$\Delta T1/\Delta T2$		3	3	2,8	3	2,8	2,8	2,8

**Tab.1.** Mesures de la température T1 dans le 1<sup>er</sup> cylindre et T2 dans le 2<sup>e</sup>. L'élévation de température  $\Delta T$  est mesurée à partir de l'allumage des lampes ( $t = 0$ ). La montée en température est presque linéaire pour chacun des cylindres mais elle ralentit vers la fin.

L'expérience permet de retrouver ce rapport proche de 3, entre l'énergie reçue par m<sup>2</sup> au solstice d'été et au solstice d'hiver à midi.

## Deuxième version

Lors de la première présentation, le public constitué principalement de professeurs des écoles a trouvé l'expérience intéressante mais plus adaptée à des élèves de collège ou de lycée que d'école élémentaire. L'idée est venue de visualiser au lieu de mesurer l'élévation de température en faisant fondre quelque chose. Le chocolat nous a semblé le plus adapté, aussi bien du point de vue scientifique que gustatif. J'utilise maintenant des carrés de chocolat, ceux que l'on sert habituellement avec le café, les plus plats possibles.

On dispose sous chacune des lampes un carré de chocolat et on allume les deux lampes. On peut essayer de faire deviner ce qui va se passer. Les deux carrés vont-ils fondre ? L'un des deux seulement ?

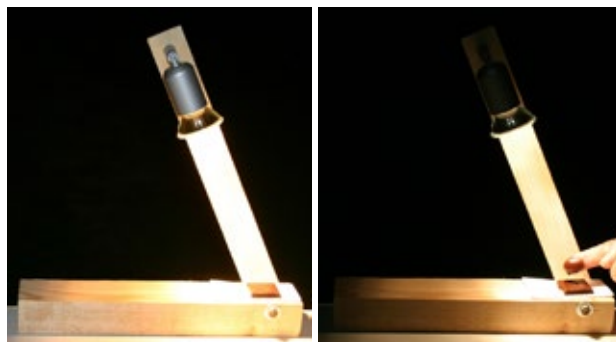


**Fig.3.** L'expérience du chocolat est très visuelle et marque les esprits. Le soleil d'hiver (ici au 1<sup>er</sup> plan) chauffe moins que le soleil d'été, à cause de l'inclinaison de ses rayons. On peut vérifier que la distance lampe chocolat est la même sur les deux appareils.

Après 5 minutes, on demande à un élève d'appuyer bien fort avec un doigt sur chacun des carrés. Le résultat est clair : l'un a fondu, l'autre non.

## Construction

La première version de cet appareil utilisait des ampoules à incandescence de 100 W avec réflecteurs, mais on n'en trouve plus. On peut les remplacer par des lampes halogènes de 50 W avec réflecteur, qui éclairent sous un angle assez petit, 30° par exemple. Le plus simple est d'acheter deux spots ce qui permet un montage très simple.



**Fig.4.** Deux morceaux de bois, une longue vis et un spot suffisent pour construire cet appareil. Avec une lampe de 50 W située à 15 cm du chocolat, il faut moins de 5 minutes pour voir fondre le «chocolat d'été». Attention à ne pas laisser allumé trop longtemps, il ne faut pas que le «chocolat d'hiver» fonde aussi. Le temps varie en fonction du type de lampe, de sa puissance, de la distance mais aussi de la marque de chocolat. Il faut construire deux appareils identiques pour comparer les résultats avec deux hauteurs de soleil.



**Fig.5.** Le modèle « Deluxe », avec double axe et réservoir à chocolat. Les deux axes sont simplement fixés sur une boîte en bois que l'on trouve facilement dans les magasins de loisirs créatifs (conception et fabrication JLF).

## À propos des deux arguments

La longueur de la journée varie approximativement d'un facteur 1 à 2 en France métropolitaine (8 h au solstice d'hiver, 16 h au solstice d'été) alors que la puissance reçue au sol par m<sup>2</sup> à midi varie presque d'un facteur 1 à 3. Quand on essaie d'expliquer pourquoi il fait plus chaud en été qu'en hiver, il serait dommage de ne parler que des variations de la longueur de la journée en oubliant celles de la hauteur du Soleil. ■